RÉMANENCE DES RÉSIDUS DE FÉNITROTHION DANS L'ENVIRONNEMENT D'UNE FORÊT DE CONIFÈRES

K. M. S. SUNDARAM ET R. NOTT

RAPPORT D'INFORMATION FPM-X-75F

INSTITUT POUR LA RÉPRESSION DES RAVAGEURS FORESTIERS
GOUVERNEMENT DU CANADA
SERVICE CANADIEN DES FORÊTS
1219, QUEEN ST. EAST
C.P. 490
SAULT STE. MARIE (ONTARIO)
P6A 5M7

Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1986
N° de catalogue Fo46-16/75F
ISSN 0704-772X
ISBN 0-662-94287-6

Pour obtenir gratuitement d'autres exemplaires de cette publication, s'adresser à:

Services d'information
Institut pour la répression des ravageurs forestiers
Service canadien des forêts
C.P. 490
Sault Ste. Marie (Ontario)
Canada P6A 5M7

This publication is also available in English under the title *Persistence of Fenitrothion Residues in a Conifer Forest Environment*.

93-02783/

RÉSUMÉ

La rémanence du fénitrothion épandu par voie aérienne a été étudiée dans divers substrats dans huit parcelles établies dans les forêts du Nouveau-Brunswick. Des échantillons de l'air, de l'eau, des sédiments, des plantes aquatiques, des poissons, du feuillage de sapin baumier (*Abies balsamea* [L.] Mill.), du sol de la forêt et de la litière y ont été prélevés, dans des parcelles non arrosées durant le programme d'arrosages opérationnels en 1982; d'autres échantillons ont été prélevés dans les mêmes parcelles un an plus tard, juste avant le début des arrosages opérationnels. Des échantillons témoins ont été prélevés à un endroit non arrosé près de Sault Ste. Marie, en Ontario. Tous les échantillons recueillis ont été analysés minutieusement. Les données obtenues ont été évaluées selon des méthodes statistiques. Le fénitrothion a été décelé dans tous les substrats qui ont été échantillonnés au cours de l'arrosage opérationnel, sauf le poisson. Les échantillons recueillis un an plus tard n'en renfermaient pas en concentrations décelables (limites de détection: 10 ng/m^3 pour l'air, 0,01 ppb pour l'eau et 0,01 ppm pour les autres), sauf ceux du feuillage. Les résultats confirment que les huit parcelles d'échantillonnage ont été touchées et contaminées à la suite des arrosages opérationnels effectués à proximité en 1982. Les nouvelles et vieilles aiguilles de sapin prélevées un an plus tard dans les huit parcelles renfermaient en moyenne environ 0,55 µg de l'insecticide (0,55 ppm) par gramme à l'état frais. Les résultats prouvent de façon concluante que les feuilles de conifères ont agi comme un micropiège pour le produit chimique et que celui-ci a tendance à persister chez elles.

ABSTRACT

Persistence of aerially sprayed fenitrothion in various forestry substrates sampled from 8 plots in New Brunswick's forests were investigated. Following established sampling methods, air, water, sediment, aquatic plants, fish, balsam fir (*Abies balsamea* [L.] Mill.), foliage, forest soil and litter samples were collected from unsprayed plots during the 1982 operational spray program in the province and again resampling them from the same plots a year later just prior to the commencement of operational spraying. Control samples were collected from an unsprayed site, near Sault Ste. Marie, Ontario. All samples collected during the two regimes and the control samples were carefully analyzed for fenitrothion residues. The data collected were evaluated statistically. All the substrates, except fish, sampled during the operational spraying contained fenitrothion. Samples collected a year later, prior to any operational spray, did not contain any detectable levels (10 ng/m^3 for air, 0.01 ppb for water and 0.01 ppm for others) of the insecticide except the fir foliage. The findings confirmed that all 8 sampling plots received drift from nearby operational spray areas in 1982 and were contaminated. New and old fir needles sampled a year later from all 8 plots contained on average about 0.55 µg of the chemical (0.55 ppm) per gram of fresh foliage. The study conclusively proved that the conifer needles acted as a micro sink for the chemical and the latter has a tendency to persist in them.

TABLE DES MATIÈRES

Page

RÉSUMÉ ____ i

ABSTRACT ____ i

INTRODUCTION ____ 1

MATÉRIEL ET MÉTHODES ____ 1

Choix des parcelles ____ 1

Échantillonnage des substrats ____ 1

Eau ____ 3
Sédiments ____ 3
Mousse et cresson ____ 3
Poisson ____ 4
Air ____ 4
Litière ____ 4
Sol ____ 4
Feuillage de sapin baumier ____ 4

Échantillons provenant des parcelles témoins ____ 5

Méthodes d'analyse ____ 5

Eau ____ 5
Sédiments, litière et sol ____ 5
Feuillage de sapin baumier, mousse et cresson ____ 5
Poisson ____ 5
Air ____ 5
Analyse par chromatographie en phase gazeuse ____ 5

RÉSULTATS ET DISCUSSION ____ 6

Contamination des parcelles étudiées par les arrosages effectués à proximité ____ 6

Rémanence du fénitrothion dans les substrats forestiers ____ 10

REMERCIEMENTS ____ 11

RÉFÉRENCES ____ 12

INTRODUCTION

Le fénitrothion [thiophosphate de 0,0-diméthyle et de 0-(méthyl-3 nitro-4 phényle)] est un insecticide organophosphoré reconnu qui a été largement utilisé depuis 1963 pour lutter contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* [Clem.]) dans l'est du Canada, notamment au Nouveau-Brunswick et au Québec. Ordinairement, l'arrosage, à raison de 0,14 à 0,28 kg d'ingrédient actif par hectare, se fait par voie aérienne à partir de la fin de mai jusqu'au milieu de juin. En 1985, environ 10 millions de kilogrammes de cet insecticide ont été répandus sur des forêts de conifères d'une superficie supérieure à 35 millions d'hectares.

Depuis de nombreuses années, le fénitrothion a été largement employé pour arroser les forêts du Nouveau-Brunswick. Ses propriétés lipophiles (son coefficient de partage K entre l'octanol et l'eau est de 2 380 à 20°C), sa stabilité dans l'environnement et sa faible pression de vapeur (183×10^{-4} Pa) expliquent, dans une certaine mesure, sa rémanence dans certains constituants de l'environnement forestier (Yule et Duffy, 1972; Yule, 1974; Sundaram, 1974a et b; Sundaram, 1984b; Ayer et collab., 1984). Certaines données déjà publiées au sujet de la rémanence du fénitrothion dans des parcelles qui avaient été épargnées pendant l'année de l'échantillonnage ont été recueillies alors que le programme d'arrosage des régions avoisinantes était en cours. En conséquence, il est possible que l'insecticide ait pénétré indirectement dans les zones échantillonnées en raison d'un effet de dérive (Pearce et collab., 1979; Mallet et Volpé, 1982; Sundaram, 1984a). On ne sait donc pas de façon précise dans quelles proportions la présence de résidus provient, d'une part, de la rémanence du fénitrothion en raison de ses propriétés physico-chimiques, à laquelle s'ajoutent les applications répétées effectuées au cours des ans, et, d'autre part, de l'arrosage des régions avoisinantes. Récemment, Sundaram (1984b) ainsi qu'Ayer et collab. (1984) ont discuté dans leurs études du problème de la rémanence de ce composé chimique, mais on sait peu de choses au sujet de l'effet des retombées indirectes de fénitrothion (provenant d'arrosages de la même année) sur la quantité totale de résidus trouvés dans certaines matières forestières. La seule façon d'élucider convenablement le problème consiste d'abord à rechercher la présence de résidus dans des parcelles non arrosées éloignées de celles qui le sont, puis à échantillonner de nouveau les mêmes parcelles un an après, juste avant le début du programme d'arrosage. En comparant les concentrations des résidus dans les substrats échantillonnés tel qu'indiqué, il devrait être possible de déterminer dans quelle mesure les retombées indirectes contribuent à augmenter la concentration résiduelle de l'insecticide en raison de la rémanence de ce composé dans les substrats forestiers. Le présent rapport décrit la première étude du genre réalisée dans les régions forestières du Nouveau-Brunswick, d'abord au cours du programme d'arrosage de l'été 1982 afin d'évaluer les effets possibles des retombées indirectes, et ensuite au printemps de 1983, juste avant qu'un premier arrosage ne soit effectué, pour savoir si les propriétés physiques du fénitrothion en causaient la rémanence.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Choix des parcelles

Huit parcelles d'une superficie variant entre 50 et 4 300 ha ont été choisies dans le nord et le sud du Nouveau-Brunswick: trois (P1, P2 et P3) près de Bathurst, trois (P4, P5 et P6) près de Charlo, et deux (P7 et P8) au voisinage de Fredericton. À maintes reprises, les parcelles avaient reçu diverses doses de fénitrothion, mais elles avaient été épargnées en 1982. Les régions avoisinantes avaient été soumises au même traitement, mais avaient été arrosées en 1982. La figure 1 indique l'emplacement des huit parcelles, les régions environnantes ainsi que les doses utilisées en 1982. Il a été impossible d'obtenir des renseignements sur les divers arrosages au fénitrothion effectués par les propriétaires de boisés aux alentours de la région de Fredericton. Les données du tableau 1 renseignent sur certaines caractéristiques des parcelles, leur situation géographique et leurs coordonnées ainsi que les substrats échantillonnés dans chacun des cas.

Échantillonnage des substrats

La première série d'échantillonnages a été effectuée en mai et en juin 1982 au milieu de la saison d'arrosage dans la province, et la deuxième, au début de mai 1983, juste avant qu'un premier arrosage ne soit effectué.

Comme on prévoyait que la quantité de résidus de fénitrothion persistant dans les substrats forestiers serait faible, et leur concentration fort probablement dans les ppb, c'est-à-dire en ng/g

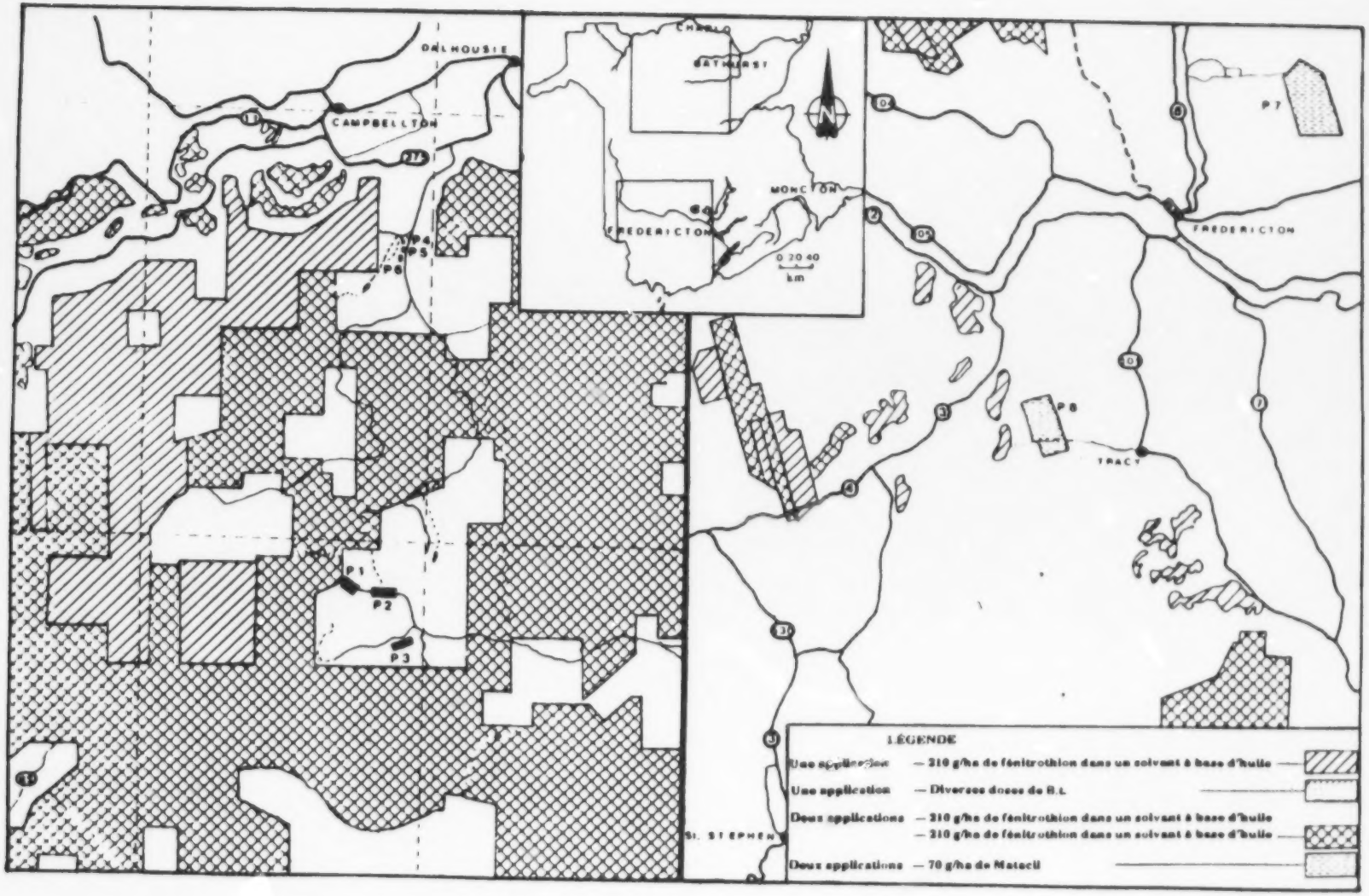

Figure 1. Emplacement des placettes et concentration des arrosages.

Tableau 1. Quelques caractéristiques des parcelles échantillonnées au Nouveau-Brunswick pendant l'étude de 1982-1983

Parcelle	Superficie approximative de chaque parcelle (ha)	Emplacement (paroisse et comté)	Coordonnées	Substrats échantillonnés
P1, P2 et P3	200	Northesk (Northumberland)	47° 24' N; 66° 31' O	Air, eau, sédiments, mousse, poisson[a], feuillage de sapin, litière et sol
P4, P5 et P6	50	Balmoral (Restigouche)	47° 50' N; 66° 30' O	Air, eau, sédiments, mousse, feuillage de sapin, litière et sol
P7	4 300	St. Mary's (York)	46° 08' N; 66° 49' O	Air, eau, sédiments, mousse, poisson, feuillage de sapin, litière et sol
P8	3 200	New Maryland (York)	45° 42' N; 66° 49' O	Air, eau, sédiments, cresson, mousse, poisson, feuillage de sapin, litière et sol

[a]On a trouvé du poisson dans la placette P1 seulement.

(Sundaram, 1974a et b; Sundaram, 1984b; Ayer et collab., 1984), un programme rigoureux de mesure du fénitrothion, fondé sur les recommandations du Federal Working Group on Pest Management des États-Unis (1974), a été mis en oeuvre afin d'obtenir des données significatives et réalistes sur la rémanence de ce produit chimique dans l'environnement et d'en établir les causes exactes. Dans la plupart des cas, les substrats et les méthodes d'échantillonnage ont été choisis conformément aux recommandations du groupe précité, avec certaines modifications pour tenir compte des conditions expérimentales.

Eau: Compte tenu de l'accessibilité des lieux, quatre postes d'échantillonnage équidistants ont été choisis dans la section transversale de chaque ruisseau où le débit était uniforme et l'eau bien mélangée. Pour prélever les échantillons, on a immergé à environ 1 cm de la surface de l'eau une bouteille propre de téflon, à large col, d'une capacité d'un litre, que l'on a laissé se remplir d'eau à peu près jusqu'aux trois quarts en évitant d'agiter et d'entraîner les sédiments du fond. La bouteille a été hermétiquement fermée avec le bouchon vissant de téflon, étiquetée puis conservée à 0°C dans une glacière. Des échantillons ont également été prélevés dans les étangs des parcelles P3 et P5 à quatre endroits choisis au hasard, dans leur section horizontale. Avant leur extraction en laboratoire, les quatre échantillons d'eau de chacun des ruisseaux ou des étangs ont été réunis pour former deux sous-échantillons composites. Quatre échantillons ont également été prélevés à chaque endroit dans les autres ruisseaux et réunis pour former des échantillons composites avant d'être extraits et analysés.

Sédiments: Au même endroit où l'eau avait été échantillonnée dans chacun des ruisseaux et des étangs, quatre cuillerées de sédiments d'environ 100 g chacune ont été prélevées et introduites dans des bouteilles de verre propre, à large col et de couleur ambre, munies d'un bouchon vissant recouvert à l'intérieur de téflon. Pour ce faire, on a lentement descendu la bouteille au fond de l'eau, enlevé le bouchon et prélevé une seule cuillerée de sédiments d'environ 1 cm d'épaisseur. La bouteille a ensuite été hermétiquement fermée et ramenée à la surface, puis toute l'eau qui s'y était introduite a été soigneusement enlevée par décantation. Une fois débarrassés de tous les débris qu'ils contenaient, les quatre échantillons de sédiments prélevés à chaque endroit ont été réunis pour former des échantillons composites dont les contenants ont été étiquetés, hermétiquement fermés, placés dans des glacières à 0°C et expédiés au laboratoire mobile, où ils ont été congelés jusqu'au moment de leur analyse.

Mousse et cresson: Il s'agit de *Fontinalis dalecarlica* (Fontinalaceae) et de *Nasturtium officinale* (Cruciferae). Aucun des ruisseaux, sauf dans la parcelle P8, ne contenait de cresson, mais la mousse

était présente partout, exception faite de la parcelle P4. Pour ces deux types de plante, on a pris environ 6 touffes pour constituer chacun des échantillons, au voisinage des mêmes postes où les prélèvements d'eau avaient été effectués. Les échantillons ont été égouttés, puis enveloppés séparément dans des feuilles d'aluminium, placés dans des sacs de polyéthylène étiquetés, mis immédiatement au froid et expédiés au laboratoire mobile, où ils ont été conservés à -10°C.

Poisson: L'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*), qui était prédominant dans les ruisseaux des parcelles P1, P7 et P8, a servi d'espèce indicatrice pour les fins de la présente étude. Les ruisseaux des autres parcelles étaient trop peu profonds pour contenir du poisson. À chaque station d'échantillonnage, on a formé un échantillon composite à l'aide de trois à cinq poissons de dimension uniforme (poids moyen: 10 ± 5 g; longueur moyenne: 8 ± 4 cm) pêchés à la ligne ou tués par électrochoc dans la même zone où les échantillons d'eau et de sédiments avaient été prélevés. Chaque échantillon a été enveloppé dans une feuille d'aluminium, placé dans un sac de polyéthylène étiqueté et mis immédiatement au froid avant d'être expédié au laboratoire mobile, où il a été conservé à -10°C avant d'être analysé. Chaque échantillon composite a été complètement homogénéisé avant l'analyse.

Air: Dans chaque parcelle, six stations d'échantillonnage d'une superficie approximative de 5 ha ont été choisies compte tenu de la vitesse et de la direction prédominantes des vents, de la densité du couvert, de la topographie, etc. L'air a été prélevé continuellement et à vitesse constante (0,5 L/min) durant 60 minutes, à l'aide de pompes fonctionnant à batteries, dans des barboteurs en verre contenant un liquide absorbant, du toluène (Sundaram, 1984a). Le débit de chacun des échantillonneurs a été soigneusement vérifié avant chaque utilisation de façon à connaître exactement le volume d'air échantillonné au cours de la période de 60 minutes. Les échantillonneurs et le piège liquide ont été soumis à des essais préalables en laboratoire à l'aide de vapeurs de fénitrothion pour vérifier l'efficacité de l'échantillonnage et la capacité de rétention de l'absorbant compte tenu du débit fixé pour les prélèvements sur le terrain. Une fois les échantillonnages terminés, les réactifs contenus dans les barboteurs ont été réunis pour former trois échantillons composites par parcelle, conservés dans des bouteilles de verre propre de couleur ambre et munis d'un bouchon vissant recouvert à l'intérieur d'une feuille d'aluminium, puis réfrigérés.

Litière: Dans chaque parcelle, vingt postes d'échantillonnage d'une superficie totale d'environ 10 ha ont été choisis au hasard. À chaque endroit, une carotte de dimension uniforme (diamètre: 5,0 cm; longueur: 4,0 cm) a été prélevée à l'aide d'un tube-échantillonneur pour tenir compte des variations dans les parcelles. Après l'échantillonnage de chaque parcelle, l'appareil a été nettoyé avec une brosse et de l'eau, et ensuite rincé à l'acétone. Les racines, les brindilles, les pierres et autres débris organiques non décomposés ont été enlevés, puis les 20 carottes ont été réunies pour former un échantillon composite, mises dans un sac de plastique étiqueté, bien mélangées et expédiées dans une glacière à 0°C au laboratoire mobile, où elles ont été conservées dans un congélateur. Avant l'analyse, les échantillons composites ont été passés dans un robot culinaire Hobart, puis à traver un tamis de 10 mesh (avec des ouvertures de 2 mm), et des portions aliquotes ont été analysées.

Sol: Vingt stations d'échantillonnage sans herbe ni litière, comprenant surtout du sol minéral, ont été choisies à proximité des endroits où des échantillons de litière avaient été prélevés. L'échantillonnage et le traitement des matières prélevées ont été faits de la même manière que pour la litière.

Feuillage de sapin baumier: Dans le centre de chaque parcelle, 10 sapins dominants (*Abies balsamea* [L.] Mill.) d'une hauteur approximative de 15 m et d'un dhp de 15 cm, exposés au soleil, possédant une cime développée et caractérisés par une ample occupation spatiale, ont été choisis au hasard dans une zone de près de 10 ha et marqués avec du ruban d'arpenteur. Dans chaque quadrant des arbres choisis, on a coupé à mi-cime une branche de 20 cm de long à l'aide d'un sécateur à long manche. Dans chacune des parcelles, les branches coupées ont été réunies pour former un échantillon composite et mises dans un sac de plastique étiqueté. Les sacs ont été placés dans une glacière, à 0°C, et expédiés au laboratoire mobile où les aiguilles des pousses de 1981 et 1982 ont été coupées séparément avec des ciseaux propres. Chaque échantillon a été divisé en deux sous-échantillons en vue de son analyse en double. Les échantillons ont été bien mélangés et conservés à -20°C dans des sacs de plastique scellés.

Échantillons provenant des parcelles témoins

Une zone témoin, semblable en tous points aux forêts de conifères du Nouveau-Brunswick, mais qui n'avait jamais été arrosée au fénitrothion, a été choisie à Searchmont (Ontario), à environ 50 km au nord de Sault Ste. Marie. Tous les substrats terrestres et aquatiques nécessaires ont été échantillonnés dans les parcelles choisies dans cette zone.

Méthodes d'analyse

Eau: Les deux échantillons composites (d'environ 1,5 L chacun) provenant de chaque poste ont été mélangés avec 100 mL d'une solution aqueuse de chlorure de sodium à 20 %, et des portions aliquotes de 500 mL ont été extraites deux fois avec 100 mL de chlorure de méthylène purifié pour l'analyse des pesticides. Les extraits organiques réunis ont été desséchés sur une colonne de Na_2SO_4 anhydre et doucement évaporés à sec à l'aide d'un évaporateur éclair; les résidus ont été repris par de l'acétate d'éthyle en vue de leur analyse par chromatographie en phase gazeuse sans autre forme de purification.

Sédiments, litière et sol: Les échantillons de sédiments ont été filtrés sous vide pour enlever l'excès d'eau. Dans le cas des sédiments, de la litière et du sol, trois prises d'essai de 10 g ont été extraites deux fois chacune pendant 5 minutes avec 100 mL d'acétonitrile purifié pour l'analyse des pesticides, à l'aide d'agitateurs Sorvall Omni-Mixer réglés à la vitesse maximale. Les extraits ont été filtrés quantitativement sur des colonnes de Na_2SO_4 (préalablement chauffé à 260°C pendant la nuit avant d'être utilisé) et concentrés sous faible pression jusqu'à un volume d'environ 60 mL. Les concentrés ont été extraits deux fois avec 20 mL d'hexane purifié pour l'analyse des pesticides, et les phases polaires ont été évaporées à sec à l'aide d'un évaporateur éclair. Les résidus ont été dissous dans 10 mL d'acétate d'éthyle distillé dans le verre ou purifié pour l'analyse des pesticides, de telle façon que 1 mL d'extrait corresponde à 1 g d'échantillon.

Les colonnes de purification ont été remplies de pipettes Pasteur (hauteur: 14,5 cm; diamètre intérieur: 0,8 cm; n° de catalogue Fisher: 13-678-8) reposant à la verticale sur un bouchon de laine de verre, et on a jouté 3 cm d'un mélange 2:5, en poids, de charbon actif Nuchar de Kodak lavé à l'acide (Brown, 1975) et de cellulose Whatman CF-11, ainsi que 1 cm de Na_2SO_4 anhydre. Les colonnes garnies ont été préalablement lavées avec 10 mL d'acétate d'éthyle. Des portions aliquotes de 1 mL d'extraits non purifiés équivalant à 1 gramme de substrat ont été introduits quantitativement dans les colonnes de purification et éluées avec 15 mL d'acétate d'éhyle à raison de 2 gouttes par seconde. Les éluats ont été concentrés dans un évaporateur éclair à 30°C en vue de leur analyse par chromatographie en phase gazeuse.

Feuillage de sapin baumier, mousse et cresson: Avant de les mélanger, on a enlevé l'excès d'eau des échantillons dégelés de mousse et de cresson en les pressant entre des feuilles de papier absorbant. Les tissus végétaux (trois prises d'essai de 10 g) ont ensuite été mélangés avec 20 g de Na_2SO_4 et extraits deux fois avec 100 mL de CH_3CN à l'aide d'un agitateur Sorvall Omni-Mixer. Les extraits ont été purifiés de la façon décrite plus haut et analysés par chromatographie en phase gazeuse.

Poisson: Chaque échantillon composite de poisson a été découpé en petits morceaux à l'aide d'un couteau tranchant, puis bien mélangé. À chacune des trois portions aliquotes de 10 grammes, on a ajouté 20 g de Na_2SO_4 et 100 mL d'acétonitrile, et le tout a été homogénéisé durant 3 minutes à l'aide d'un appareil Polytron (type PT-20). L'extrait surnageant a été filtré sous vide sur une colonne de Na_2SO_4. Le résidu a été de nouveau extrait avec 100 mL d'acétonitrile, et le surnageant a été filtré sur la même colonne. La colonne a été rincée avec 20 mL du solvant, et les extraits ont été réunis et traités comme dans le cas des sédiments.

Air: Les trois échantillons composites de toluène (liquide utilisé pour piéger le fénitrothion présent dans l'atmosphère) ont d'abord été asséchés par passage dans une colonne de Na_2SO_4, doucement évaporés sous faible pression jusqu'à un volume de 1 mL à l'aide d'un évaporateur éclair et introduits dans la colonne de charbon activé et de cellulose pour y être purifiés. L'insecticide a ensuite été élué avec de l'acétate d'éthyle, tel que décrit plus haut, et dosé par chromatographie en phase gazeuse.

Analyse par chromatographie en phase gazeuse: Les résidus de fénitrothion présents dans les derniers extraits ont été dosés à l'aide du chromatographe à gaz Tracor 550 muni d'un détecteur à ionisation de flamme spécifique pour l'azote et le phosphore (modèle 702 de Tracor). Une colonne en pyrex (longueur: 1,2 m; diamètre intérieur: 2 mm) garnie d'OV-17 à 1,5 % et d'OV-

Tableau 2. Pourcentage de récupération du fénitrothion ajouté à certains substrats forestiers

	Pourcentage de récupération ± l'écart-type (n = 3)		
Substrat	1,0 ppm	0,10 ppm	0,01 ppm
Feuillage de sapin	96 ± 4	98 ± 5	96 ± 7
Litière	98 ± 6	96 ± 3	94 ± 7
Sol	101 ± 3	98 ± 6	95 ± 6
Sédiments	98 ± 4	103 ± 7	92 ± 3
Mousse	96 ± 6 95 ± 6	91 ± 9 101 ± 4	87 ± 8 91 ± 4
Poisson	1,0 ppb	0,10 ppb	0,01 ppb
Eau	98 ± 3	102 ± 4	97 ± 2

210 à 1,95 % sur Chromosorb W (HP, 80-100 mesh) a été utilisée. L'hélium était le gaz vecteur, et le débit, de 45 mL/min. Les conditions opératoires étaient les suivantes: température du détecteur: 250°C; températures d'entrée et de sortie: 220°C et 230°C; température de la colonne: 180°C; débit des gaz du plasma: 4,0 mL/min pour l'hydrogène et 110 mL/min pour l'air. Dans ces conditions, le temps de rétention de l'insecticide était de 3,25 min.

La réponse du détecteur a été vérifiée chaque jour à l'aide d'étalons dissous dans l'acétate d'éthyle. L'extrait purifié de chaque échantillon a été injecté trois fois, et la hauteur moyenne des pics a été mesurée. Pour calculer la quantité de fénitrothion présente dans les échantillons, on s'est servi de la hauteur moyenne des pics de l'étalon externe injecté avant et après chaque extrait. Toutes les valeurs des tableaux 3 et 4 représentent la moyenne de trois mesures pour chaque substrat de chacune des parcelles; les écarts-types correspondants sont également indiqués. Les résultats ne sont pas corrigés pour l'efficacité de l'extraction.

Pour les échantillons de feuillage de sapin, de litière, de sol, de sédiments et de poisson prélevés dans les parcelles témoins, on a eu recours à la méthode des ajouts dosés. Chaque échantillon a été analysé en triple, et du fénitrothion dissous dans l'acétate d'éthyle a été ajouté de façon à obtenir des concentrations de 1,0, 0,10, et 0,01 ppm (µg/g). Chaque substrat a été extrait et analysé de la façon décrite plus haut pour évaluer l'efficacité de l'extraction. Dans le cas de l'eau, les ajouts dosés ont été les mêmes, mais les concentrations ont été exprimées en µg/L (ppb). Les pourcentages de récupération sont indiqués dans le tableau 2. Pour obtenir les pourcentages moyens et les écarts-types correspondants, on a effectué des dosages en triple. La limite inférieure de détection était de 0,01 ppm en poids à l'état humide ou frais pour les substrats, de 10 ng/m^3 pour l'air, et de 0,01 ppb pour l'eau. Aucun des extraits purifiés des échantillons témoins sans ajouts dosés équivalant à 10 g de substrat ne contenait de substances interférant avec le dosage chromatographique du fénitrothion.

La teneur en humidité du feuillage, du sol, de la litière, des sédiments, de la mousse et du cresson a été déterminée en séchant durant 16 h, dans une étuve maintenue à 105°C, deux portions de 10 g de chaque échantillon (AOAC, 1955).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Contamination des parcelles étudiées par les arrosages effectués à proximité

Le tableau 3 montre les concentrations de fénitrothion trouvées dans les échantillons de divers substrats forestiers prélevés en 1982 au Nouveau-Brunswick, pendant la saison d'arrosage (mai et juin), dans des parcelles non directement traitées avec cet insecticide. Les données pour les résidus trouvés dans des échantillons semblables prélevés presque un an plus tard (en mai 1983) dans les mêmes parcelles avant que l'application de fénitrothion ne commence dans la province figurent au tableau 4. Aucune de ces données n'est corrigée pour l'efficacité de l'extraction. Les résultats pour la végétation aquatique, les sédiments et les substrats terrestres sont exprimés en ppm (µg/g) du poids à l'état frais ou humide, pour l'interprétation écologique, et en ppm du poids de l'échantillon séché à l'étuve, entre parenthèses, ce qui permet une comparaison plus uniforme des résidus entre les espèces. Au cours de la discussion qui suit, les concentrations mentionnées sont exprimées par rapport au poids à l'état frais ou humide.

La comparaison des données relatives aux deux périodes d'échantillonnage a clairement démontré que les parcelles visées par l'étude avaient été contaminées en mai et juin 1982, en raison d'un effet de dérive, par les arrosages effectués tout près. Sauf dans le cas du poisson, presque tous les

Tableau 3. Concentrations moyennes[a] de fénitrothion dans certains substrats forestiers échantillonnés dans des parcelles non directement traitées avec cet insecticide vers le milieu (mai et juin) de la saison d'arrosage de 1982 au Nouveau-Brunswick

Substrat	Parcelles							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Air (ng/m^3)	74 ± 8	48 ± 11	82 ± 14	81 ± 7	64 ± 8	80 ± 4	62 ± 6	56 ± 3
Eau (ppb)								
ruisseaux	0,01 ± 0,01	0,04 ± 0,02	0,07 ± 0,03	0,01 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,02	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01
étangs	—	—	1,48 ± 0,08	—	0,71 ± 0,03	—	—	—
Cresson (ppm)	—	—	—	—	—	—	—	0,18 ± 0,06 (0,84 ± 0,17)
Mousse (ppm)	0,06 ± 0,02 (0,21 ± 0,09)	0,08 ± 0,03 (0,28 ± 0,08)	0,15 ± 0,04 (0,61 ± 0,11)	—	0,03 ± 0,01 (0,12 ± 0,04)	N.D.	N.D.	N.D.
Poisson (ppm)	N.D.	—	—	—	—	—	N.D.	N.D.
Sédiments (ppm)								
ruisseaux	N.D.	N.D.	0,11 ± 0,04 (0,15 ± 0,06)	N.D.	0,06 ± 0,03 (0,09 ± 0,05)	N.D.	0,08 ± 0,04 (0,12 ± 0,06)	0,15 ± 0,06 (0,21 ± 0,09)
étangs	—	—	0,21 ± 0,05 (0,28 ± 0,07)	—	0,06 ± 0,02 (0,08 ± 0,03)	—	—	—
Feuillage de sapin (ppm)								
pousses de 1981	0,38 ± 0,12 (0,71 ± 0,24)	0,49 ± 0,11 (0,81 ± 0,22)	0,62 ± 0,21 (0,98 ± 0,37)	0,43 ± 0,11 (0,80 ± 0,35)	0,33 ± 0,12 (0,61 ± 0,21)	1,06 ± 0,22 (2,07 ± 0,47)	0,50 ± 0,14 (0,79 ± 0,33)	0,41 ± 0,11 (0,69 ± 0,25)
pousses de 1982	0,36 ± 0,06 (0,72 ± 0,08)	0,53 ± 0,20 (0,98 ± 0,33)	0,66 ± 0,31 (1,08 ± 0,41)	0,47 ± 0,06 (0,82 ± 0,27)	0,39 ± 0,17 (0,66 ± 0,31)	1,12 ± 0,41 (2,18 ± 0,72)	0,64 ± 0,21 (0,98 ± 0,38)	0,42 ± 0,16 (0,79 ± 0,31)
Litière (ppm)	0,04 ± 0,01 (0,07 ± 0,03)	0,07 ± 0,03 (0,11 ± 0,06)	0,08 ± 0,02 (0,13 ± 0,06)	0,02 ± 0,01 (0,06 ± 0,04)	0,06 ± 0,03 (0,09 ± 0,04)	0,54 ± 0,13 (0,99 ± 0,27)	0,07 ± 0,03 (0,12 ± 0,04)	0,10 ± 0,04 (0,16 ± 0,07)
Sol (ppm)	0,08 ± 0,03 (0,11 ± 0,05)	0,03 ± 0,01 (0,05 ± 0,02)	0,06 ± 0,02 (0,09 ± 0,03)	0,01 ± 0,01 (0,02 ± 0,02)	0,12 ± 0,04 (0,18 ± 0,06)	0,20 ± 0,06 (0,29 ± 0,08)	0,10 ± 0,03 (0,16 ± 0,04)	0,09 ± 0,02 (0,13 ± 0,04)

[a] La limite inférieure de détection était de 10 ng/m^3 pour l'air, de 0,01 ppb pour l'eau et de 0,01 ppm pour tous les autres substrats. Les valeurs qui ne sont pas entre parenthèses représentent la concentration des résidus exprimée par rapport au poids à l'état humide. Les valeurs entre parenthèses représentent la concentration des résidus exprimée par rapport au poids de l'échantillon séché durant 16 h dans une étuve maintenue à 105°C (AOAC, 1955).

Tableau 4. Concentrations moyennes[a] de fénitrothion dans certains substrats forestiers échantillonnés en mai 1983, avant que la saison d'arrosage ne commence, dans les parcelles ayant servi à l'étude de 1982 au Nouveau-Brunswick

Substrat	Parcelles							
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Air (ng/m^3)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Eau (ppb)								
ruisseaux	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
étangs	—	—	0,07 ± 0,05	—	0,06 ± 0,02	—	—	—
Cresson (ppm)	—	—	—	—	—	—	—	N.D.
Mousse (ppm)	N.D.	N.D.	N.D.	—	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Poisson (ppm)	N.D.	—	—	—	—	—	N.D.	N.D.
Sédiments (ppm)								
ruisseaux	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
étangs	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Feuillage de sapin (ppm)								
pousses de 1981	0,45 ± 0,04 (0,75 ± 0,07)	0,56 ± 0,05 (1,00 ± 0,09)	0,45 ± 0,04 (0,79 ± 0,07)	0,62 ± 0,05 (1,11 ± 0,09)	0,39 ± 0,04 (0,71 ± 0,07)	1,16 ± 0,11 (2,10 ± 0,18)	0,52 ± 0,05 (0,91 ± 0,09)	0,32 ± 0,04 (0,55 ± 0,07)
pousses de 1982	0,58 ± 0,05 (0,99 ± 0,09)	0,63 ± 0,06 (1,10 ± 0,11)	0,42 ± 0,04 (0,69 ± 0,07)	0,80 ± 0,08 (1,32 ± 0,13)	0,15 ± 0,03 (0,27 ± 0,05)	0,67 ± 0,07 (1,17 ± 0,12)	1,00 ± 0,25 (1,73 ± 0,43)	0,12 ± 0,03 (0,23 ± 0,04)
Litière (ppm)	N.D.	0,02 ± 0,01 (0,05 ± 0,02)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Sol (ppm)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

[a] La limite inférieure de détection était de 10 ng/m^3 pour l'air, de 0,01 ppb pour l'eau et de 0,01 ppm pour tous les autres substrats. Les valeurs qui ne sont pas entre parenthèses représentent la concentration des résidus exprimée par rapport au poids à l'état humide. Les valeurs entre parenthèses représentent la concentration des résidus exprimée par rapport au poids de l'échantillon séché durant 16 h dans une étuve maintenue à 105°C (AOAC, 1955).

Tableau 5. Analyse de la variance des concentrations de fénitrothion dans le feuillage de sapin pour (A) l'année de croissance du feuillage et (B) entre les parcelles de P1 à P8

Type d'anayse	Échantillons analysés	DL[a]	Somme des carrés	Carrés moyens	Rapport F
A	Échantillons à l'état humide (études de 1982 et 1983)	3	0,0092	0,0031	0,04
	P1 à P8	28	1,9286	0,0689	
	Total	31	1,9378		
	Échantillons séchés à l'étuve (études de 1982 et 1983)	3	0,048	0,016	0,07
	P1 à P8	28	6,713	0,240	
	Total	31	6,762		
B	Échantillons à l'état humide (études de 1982 et 1983)	7	1,3594	0,1942	8,06
	Année de croissance du feuillage	24	0,5784	0,0241	
	Total	31	1,9378		
	Échantillons séchés à l'étuve (études de 1982 et 1983)	7	4,865	0,695	8,79
	Année de croissance du feuillage	24	1,9866	0,079	
	Total	31	6,7616		

[a] Degré de liberté.

substrats échantillonnés pendant la saison d'arrosage de 1982 contenaient des quantités mesurables de fénitrothion. La concentration moyenne de ce produit chimique dans l'air durant toute la période d'échantillonnage de 15 jours s'est maintenue à environ 68 ± 8 ng/m^3 (entre 48 et 82 ng/m^3), ce qui a confirmé que la contamination des masses d'air et les retombées subséquentes d'insecticide sur les substrats des parcelles P1 à P8 ont été continuelles pendant toute la période d'échantillonnage. Le produit chimique peut avoir atteint les parcelles échantillonnées de plusieurs directions possibles (figure 1), selon les conditions météorologiques. Les concentrations de fénitrothion dans l'eau des ruisseaux étaient généralement faibles (de 0,01 à 0,07 ppb, soit une moyenne de 0,03 ppb) et près de la limite de détection (0,01 ppb), tandis que dans les eaux stagnantes elles étaient en moyenne de 1,10 ppb. La teneur moyenne en insecticide des plantes aquatiques était de 0,05 ppm, et, dans le cas de la mousse et du cresson, de 0,18 ppm (poids à l'état humide). Les sédiments des ruisseaux dans les 8 parcelles contenaient en moyenne 0,05 ppm de fénitrothion (poids à l'état humide), comparativement à 0,13 ppm pour les sédiments des étangs. Pour les substrats terrestres, les concentrations moyennes étaient les suivantes: feuillage de sapin (poids à l'état humide), pousses de 1981: 0,53 ppm (de 0,33 à 1,06 ppm), et pousses de 1982: 0,57 ppm (de 0,36 à 1,12 ppm). La litière et le sol contenaient beaucoup moins de fénitrothion: 0,12 ppm (de 0,02 à 0,54 ppm), et 0,07 ppm (de 0,01 à 0,20 ppm), respectivement. Au contraire, les échantillons d'air, d'eau des ruisseaux, de sédiments, de plantes aquatiques, de poisson et de sol prélevés dans les mêmes parcelles presqu'un an plus tard (en mai 1983) avant que les arrosages ne commencent ne contenaient pas de quantité mesurable de fénitrothion. Seuls les échantillons d'eau des étangs dans les parcelles P3 et P5 et l'échantillon de litière dans la parcelle P2 contenaient des quantités d'insecticide décelables, mais beaucoup plus faibles que les valeurs trouvées un an plus tôt, en 1982. Il est surprenant de constater que les concentrations moyennes de pesticide dans les aiguilles de sapin (poids à l'état frais) des pousses de 1982 et de 1983 étaient presque les même: 0,56 ppm (de 0,32 à 1,16 ppm), et 0,55 ppm (de 0,12 à 1,00 ppm), respectivement.

Les données présentées démontrent clairement que les retombées hors-cible de fénitrothion pendant la période d'échantillonnage ont fortement contribué à

la présence des résidus trouvés dans la plupart des substrats analysés, ce qui confirme les résultats obtenus par Pearce et collab. (1979) et Sundaram (1984a). Il est donc souhaitable que les futurs essais sur le terrain de nouveaux produits chimiques réalisés dans le but d'étudier la chimie de l'environnement, les effets biologiques et l'efficacité de ces substances soient effectués dans des régions suffisamment éloignées des secteurs traités par arrosage pour que l'ambiguïté des données soit réduite au minimum.

Rémanence du fénitrothion dans les substrats forestiers

Les résultats du tableau 4 portent à croire que, dans la plupart des substrats forestiers, le fénitrothion ne persiste pas en concentration décelable, comme l'indiquent les observations déjà effectuées par d'autres chercheurs (Yule et Duffy, 1972; Sundaram, 1974a et b; Eidt et Sundaram, 1975; Miyamoto, 1977; Kingsbury, 1978; Morrison et Wells, 1981; Ayer et collab., 1964; Sundaram, 1984b). Une rémanence à court terme du produit chimique, durant environ une semaine, dans certaines espèces de flore et de faune aquatiques a été signalée (Kingsbury, 1976; Moody et collab., 1968; Morrison et Wells, 1981, Eidt et collab., 1984). On trouve également dans les publications certaines preuves de la rémanence à long terme du fénitrothion dans les conifères (Yule, 1974; Sundaram, 1974b; McNeil et collab., 1979; Mallet et Volpé, 1982; Sundaram et Sundaram, 1982; Ayer et collab., 1984, Sundaram 1984b). Les données du tableau 4 prouvent de façon concluante que le fénitrothion persiste dans les aiguilles des conifères pendant un an et plus, en moyenne à une concentration d'environ 0,55 ppm (poids à l'état frais), même s'il a été signalé que ce produit chimique avait une courte durée de vie et était instable dans diverses plantes cultivées (Miyamoto, 1978).

Les valeurs des concentrations de fénitrothion (tableaux 3 et 4) dans les échantillons de feuillage à l'état frais et sec ainsi que les différences de concentration entre les pousses de 1982 et celles de 1983 (échantillons à l'état frais et sec) ont été analysées par des méthodes statistiques: i) l'analyse de la variance, ii) le test de comparaisons multiples de Duncan, et iii) le test de Student-Newan-Kuel, plus fréquemment utilisé. L'analyse de la variance (tableau 5) n'a pas permis de constater de différences significatives entre les résidus trouvés dans les pousses de 1981 et 1982, mais certaines ont été observées entre les données pour les parcelles P1 à P8. Des différences significatives entre les concentrations des pousses de 1981 et 1982 ainsi qu'entre les données pour chacune des parcelles ont été constatées grâce au test de Duncan (tableau 6). Par ailleurs, le test de Student-Newman-Kuel (tableau 7) n'a révélé aucune différence significative entre les concentrations des pousses de 1981 et 1982, mais les données de la parcelle P6 étaient différentes de celles des autres parcelles. Étant donné les faibles quantités de résidus trouvées dans les parcelles, la faible variation entre les deux régimes de croissance et le manque d'information au sujet des antécédents d'arrosage des parcelles, il faudrait accorder plus d'importance aux conclusions obtenues à l'aide du test statistique de Student-Newman-Kuel.

Lors des arrosages au fénitrothion, le feuillage des conifères est le principal récepteur. Les mécanismes de dissipation sont surtout la volatilisation, l'altération due à l'humidité, la photolyse, l'hydrolyse et, dans une moindre mesure, la dégradation enzymatique (Sundaram et Sundaram, 1982; Sundaram, 1984b). La plus grande partie (environ 90 %) du fénitrothion intercepté par les aiguilles des conifères a été rapidement perdue dans l'espace de deux semaines, et le peu qui restait, étant donné son caractère lipophile, a probablement été absorbé, transporté et emmagasiné dans les graisses des cuticules du feuillage, ce qui a fait obstacle aux mécanismes d'entraînement par lixiviation, de volatilisation, de photodégradation et de biodégradation. Les constituants résineux polaires des cuticules (Kolattukudy, 1980) ont probablement agi comme solvants et permis aux molécules de fénitrothion de pénétrer par les pores cuticulaires. En raison de leur nature lipodique, les molécules ont pu se rendre jusqu'à la couche de cutine, agissant ainsi comme micropiège pour les résidus plus persistants ainsi emmagasinés. Par la suite, ces molécules n'ont pu se déplacer vers d'autres parties des conifères (Prasad et Moody, 1976). Pour le moment, comme les antécédents d'arrosage des parcelles sont inconnus et qu'il n'existe pas de différences significatives entre les concentrations de résidus mesurées dans les aiguilles des conifères des huit parcelles, il est impossible de démontrer de quelle façon le produit chimique s'accumule avec la fréquence d'exposition.

D'autres essais déjà effectués sur le terrain (Yule et Duffy, 1972; Sundaram, 1974a et b; Sundaram et collab., 1983; Holmes et collab., 1984), n'ont pas

Tableau 6. Résultats du test de comparaisons multiples de Duncan utilisé pour analyser les valeurs des concentrations de fénitrothion dans le feuillage afin de déterminer les différences (A) entre les pousses de 1981 et de 1982 et (B) entre les huit parcelles

Type d'étude	Échantillons	*N*	Moyenne[a]	Erreur quadratique moyenne
A	1*-81-H[b]	8	0,5275 a	0,1543
	2*-82-H	8	0,5463 ab	
	2*-81-H	8	0,5588 ab	
	1*-82-H	8	0,5738 ab	
	1*-81-E	8	0,9325 abc	
	2*-82-E	8	0,9375 abc	
	2*-81-E	8	0,9900 bc	
	1*-82-E	8	1,0263 c	
B	P5[c]	8	0,4388 a	0,1046
	P8	8	0,4412 a	
	P1	8	0,6175 ab	
	P3	8	0,7113 ab	
	P2	8	0,7625 ab	
	P4	8	0,7963 ab	
	P7	8	0,8838 b	
	P6	8	1,4413 c	

[a] Les moyennes suivies de la même lettre ne comportent pas de différence significative; P = 0,05, degré de liberté = 56.
[b] 1: étude de 1982; 2: étude de 1983; H: échantillons à l'état humide; E: échantillons séchés à l'étuve.
[c] P = numéro de la parcelle.

permis d'observer une rémanence prolongée du produit chimique dans les eaux naturelles ni dans la litière. Nous pouvons donc avancer l'hypothèse que les faibles concentrations trouvées dans les deux échantillons d'eau des étangs dans les parcelles P3 et P5 ainsi que dans un échantillon de litière dans la parcelle P2 (tableau 4) peuvent être dues à la chute des feuilles, à la lixiviation des aiguilles et des brindilles de sapin contaminées ainsi qu'au ruissellement causé par la pluie plutôt qu'à la rémanence du produit chimique dans ces deux substrats.

L'importance écologique des faibles quantités de fénitrothion (environ 0,55 ppm en poids à l'état humide) persistant longtemps dans les conifères n'est pas encore tout à fait connue. McNeil et collab. (1979) ainsi qu'Eidt et Mallet (1985) ont signalé que des quantités de cette ordre étaient toxiques pour les larves des tenthrèdes et diprions des conifères. L'utilisation continuelle de fénitrothion justifierait probablement la réalisation d'une étude poussée afin de déterminer les effets biologiques à long terme du produit chimique sur les espèces non visées qui consomment des aiguilles de sapin contaminées et vivent dans les forêts de conifères.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient M. Ed G. Kettela, du Service canadien des forêts – Maritimes, à Fredericton (Nouveau-Brunswick), qui a aidé à la réalisation des travaux sur le terrain, ainsi que le directeur du Centre, qui a autorisé l'utilisation de l'un de ses laboratoires comme installation de fortune pour les analyses chimiques au cours de l'étude.

Tableau 7. Résultats du test de comparaisons multiples de Student-Newman-Kuel utilisé pour analyser les valeurs des concentrations de fénitrothion dans le feuillage afin de déterminer les différences (A) entre les pousses de 1981 et de 1982 et (B) entre les huit parcelles

Type d'étude	Échantillons	*N*	Moyenne[a]	Erreur quadratique moyenne
A	1[b]-81-H[b]	8	0,5275 a	0,1543
	2[b]-82-H	8	0,5463 a	
	2[b]-81-H	8	0,5588 a	
	1[b]-82-H	8	0,5738 a	
	1[b]-81-E	8	0,9325 a	
	2[b]-82-E	8	0,9375 a	
	2[b]-81-E	8	0,9900 a	
	1[b]-82-E	8	1,0263 a	
B	P5[c]	8	0,4388 a	0,1046
	P8	8	0,4412 a	
	P1	8	0,6175 a	
	P3	8	0,7113 a	
	P2	8	0,7625 a	
	P4	8	0,7963 a	
	P7	8	0,8838 a	
	P6	8	1,4413 b	

[a] Les moyennes suivies de la même lettre ne comportent pas de différence significative; P = 0,05, degré de liberté = 56.
[b] 1: étude de 1982; 2: étude de 1983; H: échantillons à l'état humide; E: échantillons séchés à l'étuve.
[c] P = numéro de la parcelle.

RÉFÉRENCES

A.O.A.C. 1955. Official methods of analysis (8th ed.). Assoc. Official Anal. Chem., Washington, D.C.

Ayer, W.C.; Brun, G.L.; Eidt, D.C.; Ernst, W.; Mallet, V.N.; Matheson, R.A.; Silk, P.J. 1984. Persistence of aerially applied fenitrothion in water, soil, sediment and balsam fir foliage. Canada, Can. For. Serv. Inf. Rep. M-X-153.

Brown, M.J. 1975. Improved determination of residues of phorate and its principal metabolites. J. Agric. Food Chem. 23(2):334-335.

Eidt, D.C.; Mallet, V.N. 1985. Accumulation and persistence of fenitrothion in needles of balsam fir and possible effects on abundance of *Neodiprion abietis* (Harris) (Hymenoptera: Diprionidae). Can. Entomol. (118:69-77).

Eidt, D.C.; Sundaram, K.M.S. 1975. The insecticide fenitrothion in headwater streams from large-scale forest spraying. Can. Entomol. 107:735-742.

Eidt, D.C.; Sosiak, A.J.; Mallet, V.N. 1984. Partitioning and short-term persistence of fenitrothion in New Brunswick (Canada) headwater streams. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 13:43-52.

Holmes, S.B.; Kingsbury, P.D.; Mammarbachi, G.; Mathieu, P. 1984. Distribution of fenitrothion residues in brook trout (*Salvelinus fontinalis*) and lake trout (*Salvelinus namaycush*) tissues following aerial applications to Lac Ste-Anne, Québec. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 33:468-475.

Kingsbury, P.D. 1976. A history of the effects of aerial forest spraying in Canada on aquatic fauna. Environ. Can., Can. For. Serv. Inf. Rep. CC-X-117.

Kingsbury, P.D. 1978. A study of the distribution, persistence and biological effects of fenitrothion applied to a small lake in an oil formulation. Environ. Can., Can. For. Serv. Inf. Rep. FPM-X-13.

Kolattukudy, P.E. 1980. Biopolyester membranes of plants: Cutin and Suberin. Science 208:990-1000.

Mallet, V.N.; Volpé, G. 1982. A chemical residue survey in relation to the 1980 spruce budworm spray program in New Brunswick (Canada). J. Environ. Sci. Health B17:715-736.

McNeil, J.N.; Greenhalgh, R.; McLeod, J.M. 1979. Persistence and accumulation of fenitrothion residues in jack pine foliage and their effect on the Swaine jack pine sawfly, *Neodiprion swainei* (Hymenoptera: Diprionidae). Environ. Entomol. 8:752-755.

Miyamoto, J. 1977. Degradation of fenitrothion in terrestrial and aquatic environments including photolytic and microbial reactions. *In* J.R. Roberts, R. Greenhalgh, and W.K. Marshall., eds., Proc. Symposium Fenitrothion: the long-term effects of its use in forest ecosystems.

Miyamoto, J. 1978. Impact of fenitrothion (Sumithion®) on the whole environment including humans. Sumitomo Chem. Co. Ltd., Osaka, Japan.

Moody, R.P.; Greenhalgh, R.; Lockhart, L.; Weinberger, P. 1978. The fate of fenitrothion in an aquatic ecosystem. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 19:8-14.

Morrison, B.R.S.; Wells, D.E. 1981. The fate of fenitrothion in a stream environment and its effect on the fauna following aerial spraying of a Scottish forest. Sci. Total Environ. 19:233-252.

Pearce, P.A.; Brun, G.L.; Witteman, J. 1979. Off-target fallout of fenitrothion during 1978 forest sprying operations in New Brunswick. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 23:503-508.

Prasad, R.; Moody, R.P. 1976. Fate of fenitrothion in forest trees VIII. Persistence, translocation and metabolism of ^{14}C-fenitrothion in jack pine (*Pinus banksiana* Lamb.) in relation to sawfly mortality. Environ. Can., Can. For. Serv. Inf. Rep. CC-X-126.

Sundaram, K.M.S. 1974a. Distribution and persistence of fenitrothion residues in foliage, soil and water in Larose forest. Environ. Can., Can. For. Serv. Inf. Rep. CC-X-64.

Sundaram, K.M.S. 1974b. Persistence studies of insecticides: III. Accumulation of fenitrothion and its oxygen analog in foliage, soil and water in Larose forest. Environ. Can., Can. For. Serv. Inf. Rep. CC-X-65.

Sundaram, K.M.S. 1984a. Residue levels of fenitrothion and aminocarb in the air samples collected from experimental spray blocks in New Brunswick in 1982. J. Environ. Sci. Health B19:409-426.

Sundaram, K.M.S. 1984b. Résidus de fénitrothion dans quelques échantillons d'une forêt artificielle arrosée expérimentalement cinq années consécutives. Environnement Canada, Service canadien des forêts, Rap. d'inf. FPM-X-66F.

Sundaram, K.M.S.; Sundaram, A. 1982. Influence de la préparation sur la taille des gouttelettes, la dose reçue et la persistance du fénitrothion sur les conifères après un arrosage aérien simulé. Revue de recherches du Service canadien des forêts 3 (1):7-10.

Sundaram, K.M.S.; Feng, J.; Nott, R.; Feng, C. 1983. Distribution, dynamics, persistence and fate of aminocarb and fenitrothion formulations containing Triton® X-100 in New

Brunswick forest environment. Environ. Can., Can. For. Serv., For. Pest Manage. Inst., File Rep. 44.

U.S. Federal Working Group on Pest Management. 1974. Guidelines on sampling and statistical methodologies for ambient pesticide monitoring. Washington, D.C.

Yule, W.N. 1974. The persistence and fate of fenitrothion insecticide in a forest environment: II. Accumulation of residues in balsam fir foliage. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 12:249-256.

Yule, W.N.; Duffy, J.R. 1972. The persistence and fate of fenitrothion insecticide in a forest environment. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 8:10-17.